

УДК 693.554: 624. 016

РОЗРАХУНОК СТРУМУ НАГРІВУ АРМАТУРИ В ЗАКРИТИХ КАНАЛАХ З ФЕРОМАГНІТНИМ КАНАЛОУТВОРЮВАЧЕМ

© Щеглюк М. Р., 2000

Державний університет "Львівська політехніка"

Приведена методика і розрахункові формули для визначення струму нагріву стержневої арматури, який є параметром налагодження регулятора при її електротермічному напруженні в закритих каналах з феромагнітним каналотворювачем.

Використання нових сучасних технологій у будівництві нерозривно пов'язано з вдосконаленням конструкцій будівель і споруд, в тому числі і з залізобетону – основного матеріалу, що тут використовується. Найпершим завданням вдосконалення таких конструкцій є значне зменшення матеріаломісткості і трудомісткості при їх виготовленні, а також підвищення експлуатаційних якостей, надійності і довговічності. Для вирішення цієї проблеми широко застосовують монолітне будівництво споруд з попереднім напруженням конструкцій в умовах будівельного майданчика.

В монолітному будівництві часто арматуру для попереднього напруження розташовують в каналах, які спеціально влаштовують в конструкції при бетонуванні. Канали можуть мати спеціальні каналотворювачі із сталеві труби, звареного короба, гофрованого металорукава, гумової чи поліетиленової трубки або бути без них. Часто арматуру обмазану спеціальним полімером закладають в конструкцію при бетонуванні [1]. Полімер при досягненні певної температури розплавляється, а потім знову тужавіє, забезпечуючи надійне зчеплення арматури з бетоном. Для контролю і регулювання температурного режиму при електротермічному напруженні арматури таких конструкцій було розроблено спеціальну систему автоматичного регулювання шляхом стабілізації струму нагріву. Між струмом і температурою існує строга закономірність, яка використовується для налагодження системи регулювання. Первинним перетворювачем в такій системі служить високоточний трансформатор струму. Оскільки струм нагріву виступає параметром налагоджування регулятора, то зростають вимоги до точності його розрахунку.

Якщо арматуру нагрівають в каналах без сталевих каналотворювачів, то методика розрахунку не відрізняється від відомої із технічної літератури [2]. При нагріванні арматури в сталевих каналотворювачах в них виникають вихрові струми, які

створюють своє електромагнітне поле, яке, взаємодіючи із електромагнітним полем арматури, значно змінює її індуктивний і повний опори, що приводить до значної зміни величини струму.

Аналіз фізичних процесів, які виникають у таких системах показує, що величина вихрового струму, котрий наводиться в каналотворювачі, буде залежати від глибини проникнення електромагнітної хвилі. Чим вона більша, тим більша енергія буде виділятися з поверхні каналотворювача [3], тобто:

$$p_o = 2,808 \cdot 10^{-3} \cdot H_{ек}^2 \sqrt{\mu_{рк} \cdot \rho_{рк} \cdot f}, \quad (1)$$

де p_o - питома енергія, що виділяється на поверхні сталевих каналотворювача, Вт/м²; $H_{ек}$ - діюче значення напруженості магнітного поля, А/м; $\mu_{рк}$ - магнітна проникливість матеріалу каналотворювача; $\rho_{рк}$ - питомий опір матеріалу каналотворювача, Ом·м; f - частота струму, Гц.

Із рівняння (1) неважко знайти величину вихрового струму, який буде нагрівати сталевий каналотворювач. Дослідження такої методики розрахунків показали, що похибка буде значно більшою від 5 %. Трудність точного встановлення похибки розрахунків полягає в тому, що неможливо заміряти величину вихрового струму і порівняти його значення із розрахованим теоретично. Тому такий аналіз робили на основі енергетичного балансу. Вимірювали температуру нагріву каналотворювача і визначали який струм потрібний для його нагрівання до такої температури. Дослідження підтвердили недосконалість методики розрахунку втрат у феромагнітних тілах від вихрових струмів. Розрахунок струму нагрівання арматури в сталевих каналотворювачах можна проводити за результатами експериментальних досліджень, якими встановлено, що на його значення сильно впливає співвідношення довжин нагрітої арматури і каналотворювача. В процесі нагрівання струм в арматурі зменшується і це приводить до

зменшення вихрових струмів. Така взаємозалежність ускладнює розрахунки, тому їх доцільно проводити у два етапи. На першому етапі визначати початковий струм арматури за значеннями співвідношення довжин, а на другому – визначати значення струму в процесі нагріву для різних усереднених швидкостей піднімання температури арматури. Якщо ці залежності описати поліномом п'ятого степеня, то похибка розрахунків не буде перевищувати 0,5%.

Наприклад, для арматури діаметрами 25...32 мм і усереднених швидкостей піднімання температури $V_y = 1,0 \dots 2,0$ °C/с розрахункова формула початкового струму буде мати такий вигляд:

$$I_{2_{\text{кл}}} = I_2 \cdot (1 + 0,405 \cdot L_{\kappa} - 6,436 \cdot L_{\kappa}^2 + 14,386 \cdot L_{\kappa}^3 - 13,85 \cdot L_{\kappa}^4 + 4,977 \cdot L_{\kappa}^5); \quad (2)$$

$$L_{\kappa} = \frac{l_{\kappa}}{l_a}, \quad (3)$$

де $I_{2_{\text{кл}}}$ - початковий струм в арматурі в сталевому каналуотворювачі, А; I_2 - початковий струм нагріву арматури без сталевого каналуотворювача, А; L_{κ} - співвідношення довжин каналуотворювача і арматури; l_{κ} - довжина каналуотворювача, м; l_a - довжина арматури, м.

Зміна струму в процесі нагріву для вказаних вище діаметрів арматури і усереднених швидкостей нагріву буде визначатись за такими формулами:

при $L_{\kappa} = 0 \dots 0,4$

$$I_{2_{\kappa}} = I_{2_{\text{кл}}} \cdot (1 - 1,98 \cdot 10^{-3} \cdot \tau + 1,05 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^2 - 4,12 \cdot 10^{-8} \cdot \tau^3 + 6,34 \cdot 10^{-11} \cdot \tau^4); \quad (4)$$

при $L_{\kappa} = 0,4 \dots 0,7$

$$I_{2_{\kappa}} = I_{2_{\text{кл}}} \cdot (1 - 2,72 \cdot 10^{-3} \cdot \tau + 5,45 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^2 - 5,8 \cdot 10^{-7} \cdot \tau^3 + 2,5 \cdot 10^{-9} \cdot \tau^4 - 3,74 \cdot 10^{-12} \cdot \tau^5); \quad (5)$$

при $L_{\kappa} = 0,7 \dots 1,0$

$$I_{2_{\kappa}} = I_{2_{\text{кл}}} \cdot (1 - 1,89 \cdot 10^{-3} \cdot \tau + 9,96 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^2 - 3,17 \cdot 10^{-8} \cdot \tau^3 + 3,83 \cdot 10^{-11} \cdot \tau^4), \quad (6)$$

де $I_{2_{\kappa}}$ - струм нагріву арматури в сталевому каналуотворювачі, А; τ - поточний час нагріву арматури, с.

Подібні залежності виведені і для діаметрів арматури 16...36 мм та усереднених швидкостей нагріву 0,5...4 °C/с. Наведена методика розрахунків дозволила зменшити похибку визначення струму до 1...1,5 %.

При нагріванні арматури в каналуотворювачі із гофрованої труби, виготовленої із тонкої сталеві жерсті, зміна струму в арматурі дуже мала і не перевищує значення похибки вимірювання. Для такої конструкції уточнювати зміну величини струму необов'язково.

Дослідні і розрахункові дані добре узгоджуються із тими фізичними процесами, які відбуваються про проходженні струму у феромагнітних елементах таких конструкцій [3]. Вихрові струми наводяться тільки у масивних феромагнітних тілах, тому каналуотворювачі доцільно виготовляти із тонкої жерсті або неферомагнітних матеріалів.

1. Б. В. Прикін, І. М. Бориц, О. М. Коробкова. Арматура і арматурні вироби у виробництві збірного залізобетону. - К.: Вища школа. - 1973. - 255 с.
2. Гнідець Б. Г., Завадяк П. П., Щеглюк М. Р. Залізобетонні конструкції з електротермічним попереднім напруженням при монтажі. - К.: "Техніка", 1996. - 240 с.
3. Киянищина М. С., Попова В. Ф. Потери в феромагнітних конструкціях потужних токопроводов. - Л.: Энергия. - 1972. - 112 с.